

Punottu paperi leijan purjemateriaalina

Axel Lyytikä
Materiaalitutkimus -kurssin tutkimusraportti
Muotoilun pääaine
Muotoilun laitos
Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu
Aalto-yliopisto
08.04.2020

Tiivistelmä

Tutkimusaiheenani oli paperin punonnan ja paperisten sidosten vaikutus koepalan kestävyys. Tutkimuksen lähtökohtana oli tarve löytää menetelmä, jolla voitaisiin parantaa leijan purjemateriaalina käytettävän paperin ominaisuuksia.

Lisäksi tutkin myös paperin päällystämisen vaikutusta paperin ominaisuuksiin. Päällystämiseen käytin mehiläisvahaa, parafiiniä, sekä wheatpasta (vehnäpohjaista liimaa). Käytin näitä materiaaleja päällystämiseen, sillä vahalla päällystetty paperi on vedenkestävää sekä tuulenkestävää, ja wheatpasten kovettuessa siitä tulee vahvaa.

Valmistin 24 näytepalaa kahdesta eri paperista, kolmella eri sidoksella: palttina, 2/1 toimikas eli tvilli, 3/1 toimikas. Valmistin sidokset 0,5 cm leveistä suikaleista, josta syntyi 12,5 cm x 12,5 cm kokoisia näytepaloja.

Tutkimuksen edetessä huomasin ominaisuuksia, kuten koepalasten venyminen vinottaissuunnassa, sekä toimikas -sidosten muodostamat vinottaissuuntaiset ontelot. Venyvyys on leijaa rakentaessa hyvä ominaisuus. Nämä ontelot mahdollistivat puuriman pujottamisen sidoksen väliin. Tätä ominaisuutta pystyin käyttämään leijaa rakentaessa, koska tämä mahdollisti

Johtopäätöksenä suoritettujen kokeiden jälkeen oli se, että jotkut sidokset, kuten esimerkiksi 3/1 toimikas, olivat Calligraphy -paperista tehtynä aika paljon vahvempia kuin punomaton paperi. Päällysteistäkin löytyi ominaisuuksia, jotka paransivat, mutta myös huononsivat lopputuloksia. Parafiinin ja mehiläisvahan sekoitus vahvisti esimerkiksi suikaleiden vetokestävyyttä. Mehiläisvaha huononsi paperin ominaisuuksia, sillä se teki paperista pehmeämpää, jonka seurauksena paperin kuidut ratkesivat helposti.

Olisi kiinnostavaa tehdä laajempia testejä kunnollisilla mittauslaitteilla, ja keksiä tapa valmistaa näytepaloja, tai jopa isompia pintoja nopeammin. Käsillä tehdessä näytepalojen tekeminen kestää liian kauan, jos oikeasti haluaisi tehdä jotain isompaa.

Tutkimus on johtanut ensimmäisen leijan rakentamiseen tutkimuksessa mainittujen menetelmien mukaan.

Sisällysluettelo

1 Johdanto	3
2 Tavoitteet ja tutkimusongelma	4
2.1 Tavoitteet	
2.2 Tutkimusongelma	
3. Materiaali	5
3.1 Paperi	
3.2 Materiaalivalinta	
3.2.1 Calligraphy 90 g/m ²	
3.2.2 Lokta 30 g/m ²	
4. Menetelmä	6
4.1 Näytepalat	
4.1.1 Näytepalojen käsittely	
4.2 Kestävyysskoheet	
5. Lopputulokset	9
5.1 Vertailukappaleet	
5.2 Palttina	
5.3 Toimikas 2/1	
5.4 Toimikas 3/1	
5.5 testitulokset	
5.5.1 Paperien erot	
5.5.2 Sidosten erot	
5.5.3 Päälysteiden erot	
5.5.4 Muita tuloksia	
6. Testileija	15
6.1 Lennättäminen	
7. Lopuksi	17
8. Lähteet	18

1 Johdanto

Tämän materiaalitutkimuksen inspiraatio on peräisin henkilökohtaisesta kiinnostuksestani leijoihin. Leijaa rakentaessa pitää käyttää mahdollisimman kevyitä materiaaleja, jotta leijan paino suhteessa sen kokoon pysyisi tasapainossa. Materiaalien on pakko silti olla kestäviä. Tässä tutkimuksessa paperi on keskeinen materiaali keveytensä ja vahvuutensa vuoksi.

Tutkimuksessa yritetään vastata kysymykseen: syntyykö paperisuikaleita punoessa samanlaista vahvistavaa efektiä kuin tekstiiliä kutoessa? Verrattuna langan pyöreään muotoon, paperisuikaleet ovat suhteeltaan kovin erilaisia, sillä raportissa käytettävien testipalasten suikaleet ovat 0,5 cm leveitä, mutta vain ~0,1 mm paksuja.

Paperisuikaleiden ja paperinarun punomista käytetään usein askartelussa ja taiteen tekemisessä, mutta paperisten sidosten rakenteellisista ominaisuuksista löytyvää tietoa on kovin vähän.

Tutkimuksessa pyritään selvittämään miten paperisten koepalojen ominaisuudet paranevat tai muuttuvat eri käsittelyjen ja sidosten avulla. Näytepalojen päällystämiseen ja kyllästämiseen käytetään testeissä eri vahoja sekä wheatpasta (vehnäjäuhopohjasta liimaa).

Käytän tässä tutkimuksessa Daphne-kasvista tehtyä paperia siitä syystä, että sillä ei ole tarkkaa kuitusuuntaa ja se on pehmeää. Toisena paperina käytän kalligrafiapaperia selkeän kuitusuunnan ja tukevamman koostumuksen takia.

Havannoin tutkimuksessa kolmen eri sidoksen ominaisuuksia: palttinaa, 2/1 tvilliä eli toimikasta, sekä 3/1 toimikasta.

2 Tavoitteet ja tutkimusongelma

2.1 Tavoitteet

Tavoitteeni on löytää sopiva paperilaatu punomiseen, sekä sopiva käsittely, joka parantaisi paperisten koepalojen ominaisuuksia verrattuna punomattomaan paperiin. Yritän myös selvittää miten paperista saisi notkeampaa, sillä jotkut leijamallit tarvitsevat liikkumavaraa (esim. Kokoontaitettavat leijat), ja punomaton paperi on liian jäykkää tähän tarkoitukseen. Tulosten aion rakentaa punomalla oikeankokoisen leijan, jossa käytän oppimiani asioita.

2.2 Tutkimusongelma

Leijoja tehdessä käytetään usein muoviperäisiä, tai muovilla käsiteltyjä materiaaleja, esim. muovipusseja tai Ripstop-kangasta, ja haluan etsiä tavan käyttää paperia niiden sijaan. Paperi ei kuitenkaan ole yhtä kestäväää kuin muovi, joten sitä on vain käytetty leijoissa, jotka eivät tarvitse paljon tuulta, eivätkä paina paljon. Näitä ovat esimerkiksi kertakäyttöiset leijat.

Muovin, tai muoviperäisten kankaiden käyttö leijoissa voi ehkä olla kestävämpää ja helpompaa, mutta haluan kuitenkin kokeilla, onko mahdollista vahvistaa paperia punomisen avulla riittävän paljon.

3 Materiaali

3.1 Paperi

Paperi on arkki- tai rullamuodossa oleva tuote, joka koostuu luonnon ja/tai tekokuiduista ja jossa lisäksi voi olla pigmenttejä, liima-, täyte-, väri- ym. aineita.¹

Paperilaatua on paljon erilaisia riippuen raaka-aineista, joita on käytetty, paperin paksuudesta, huokoisuudesta, ja kuitujen suunnasta.

Löysin kuitenkin tutkimustapoja, jotka testasivat paperin ominaisuuksia. Yleensä näissä testeissä kokeillaan montaa eri metodia, jotta saataisiin mahdollisimman tarkka kuvaus paperista. Tämä ei kuitenkaan ollut sopiva tapa minulle, mutta sain niistä inspiraatiota oman testilaitteeni tekemiseen.

3.2 Materiaalivalinta

Valitsin tähän tutkimukseen kaksi eri paperilaatua, jotka erosivat eri tekijöissä: kuitujen suunnassa, kuitujen pituudessa, paksuudessa ja huokoisuudessa.

3.2.1 Lokta Natural L01 30 g/m²

Lokta -paperi (**Kuva 1.**) on Daphne-kasvista jalostettu paperi, ja sitä valmistetaan perinteisesti vain Nepalissa. Sen kuidut ovat pitkiä verrattuna normaaliin tulostuspaperiin. Tämä vaikuttaa siihen, että paperi on notkeaa, pehmeää ja paljon huokoisempaa kuin esimerkiksi tavallinen tulostuspaperi. Tämän lisäksi paperi on erityisen ohutta (tulostuspaperi on 74g/m²). Ulkonäöltään Lokta -paperi on epätasaisempaa kuin monet muut paperit, ja se on väriltään vähän ruskea.

3.2.2 Calligraphy 90 g/m²

Calligraphy -paperi (**Kuva 2.**) on verrattuna Lokta -paperiin paljon jäykempää. Kuidut ovat lyhyempiä mutta ne ovat teollisen valmistusprosessin takia samassa suunnassa, verrattuna käsintehtyyn Lokta -paperiin jonka kuidut ovat satunnaisissa suunnissa. Paperi on painavampaa, tiheämpää ja paksumpaa, jonka takia se ei ime itseensä yhtä paljon nestettä kuin Lokta -paperi.

¹ Moilanen, T. 1995. Käsintehty paperi, 15



Kuva 1. Lokta -paperi



Kuva 2. Calligraphy -paperi

4 Menetelmä

4.1 Näytepalat

Aloitin kokeiden tekemisen punomalla neljä näytepalaa molemmista paperin laaduista ja kaikista kolmesta sidoksesta (palttina, 2/1 toimikas, 3/1 toimikas). Näytepaloja syntyi yhteensä 24 kappaletta. Näytepalat (**Kuva 3.**) olivat kooltaan 12,5 x 12,5 cm ja teippasin maalarinteipillä ylimenevien suikaleiden kärjet kiinni, jotta sidokset eivät ratkeaisi.



Kuva 3. Kuusi pinoa näytepaloja

Huomasin heti 3/1 toimikasta punoessani, että suikaleiden väliin syntyi ontelo, jota voisi käyttää hyödyksi. Pujotin puutikkuja sidoksen väliin (**Kuva 4. & Kuva 5.**), jonka seurauksena oli hieno lopputulos.

Mietin että voisin käyttää näitä tuloksia valaisinten tekemiseen, sekä leijojen rakenteiden sisällyttäminen itse leijan purjemateriaaliin.



Kuva 4. Puutikki sidoksessa



Kuva 5. Kolme puutikkua sidoksessa

4.1.1 Näytepalojen käsittely

Toinen vaihe tutkimuksessa oli näytepalojen käsitteleminen erilaisilla päällysteillä. Käytin kahta eri vahaa: mehiläisvahaa sekä parafiinia. Käytin päällystämiseen myös vehnähajasta kotitekoista liimaa (wheatpaste). Levitin vahan hankaamalla vahapalaa paperin pintaan, jonka jälkeen sulatin vahan silitysraudalla. Yritin saada mahdollisimman samanlaisen vahamäärän jokaiseen näytepalaan. Wheatpastella päällystäminen tapahtui sivelemällä näytepalat molemmilta puolilta, jonka jälkeen kuivasin ne ripustamalla ne pyykkipikien avulla narulle.

4.2 Kestävyysskoheet

Aloitin näytepalojen lujuuden testaamisen puristamalla näytepalasten kulmat kiinni puurimojen väliin, ja sen jälkeen kiinnittämällä ne yksitellen kotitekoiseen testilaitteeseen. Aalto-yliopistolla olisin mahdollisesti pystynyt käyttämään oikeaa testilaitteista, mutta Koronavirusepidemian takia en päässyt koulun tiloihin kurssin aikana.

Kotitekoinen testauslaitteeni (**Kuva 6.**) koostui mikrofoonijalustasta, kengännauhasta, kolmesta ruuvipuristimesta, neljästä puurimasta sekä koukullisesta kalan punnitsemiseen tarkoitettusta vaa'asta. Kotitekoinen testilaitteeni oli alkeellinen versio yhdestä teollisesti käytetyn paperitestauksen TAPPI-testistä T 494², jota käytetään paperin ominaisuuksien määrittämisessä.

Päätin selvittää paperin diagonaalisen kestävyuden, sillä silloin näkisin vahvuuden lisäksi näytepalasten venyvyyden määrän. Suoritin testit kiinnittämällä näytepalat testilaitteeseen, jonka jälkeen vedin kalavaa'an kahvasta alaspäin, kunnes näytepala ei kestänyt enää, ja meni rikki. Jokaisen testin jälkeen kirjasin ylös kyseisen näytepalan kestävyuden kiloissa.



Kuva 6. Kotitekoinen testilaite



Kuva 7. TAPPI T 494 -testilaite²

² <https://www.admet.com/testing-applications/testing-standards/tappi-t494-paper-paperboard-tensile-testing/>

5 Lopputulokset

Lopputuloksena sain 24 rikkinäistä näytepalaa sekä niiden kestävyyslukemat. Näiden avulla pystyin näkemään, mitkä materiaaliyhdistelmät olivat sopivia leijan purjemateriaalina.

5.1 Vertailukappaleet

Ei-sidottu, käsittelemätön Calligraphy -paperi kestää 6 kg:n vetovoiman, ja Lokta -paperi kestää 2,7 kg:n vetovoiman. Kumpikaan ei kuitenkaan venynyt yhtään.

5.2 Palttina

Calligraphy -paperi, 90g/m2 (C)	Palttina
C	6.8 kg
C + Mehiläisvaha	5.5 kg
C + Mehiläisvaha + paraffiini	5 kg
C + Wheatpaste	8 kg

Lokta -paperi, 30g/m2 (L)	Palttina
L	2.5 kg
L + Mehiläisvaha	2 kg
L + Mehiläisvaha + Paraffiini	3 kg
L + Wheatpaste	3.5 kg



Kuva 8. Ylärivissä Calligraphy -paperi, ja alarivissä Lokta -paperi. Vasemmalta oikealle palttinasidokset järjestyksessä: ei-käsitelty, mehiläisvaha, mehiläisvaha & paraffiini, ja wheatpaste.

5.3 Toimikas 2/1

Calligraphy -paperi (C), 90g/m2	Toimikas 2/1
C	7 kg
C + Mehiläisvaha	3.5 kg
C + Mehiläisvaha + paraffiini	6 kg
C + Wheatpaste	8 kg

Lokta -paperi (L), 30g/m2	Toimikas 2/1
L	2.3 kg
L + Mehiläisvaha	2.8 kg
L + Mehiläisvaha + Paraffiini	3.5 kg
L + Wheatpaste	5.2 kg



Kuva 9. Ylärivissä Calligraphy -paperi, ja alarivissä Lokta -paperi. Vasemmalta oikealle toimikassidokset järjestyksessä: ei-käsitelty, mehiläisvaha, mehiläisvaha & paraffiini, ja wheatpaste.

5.4 Toimikas 3/1

Calligraphy -paperi (C), 90g/m2	Toimikas 3/1
C	8.2 kg
C + Mehiläisvaha	6 kg
C + Mehiläisvaha + paraffiini	6 kg
C + Wheatpaste	5 kg

Loktapaperi (L), 30g/m2	Toimikas 3/1
L	2.5 kg
L + Mehiläisvaha	3.4 kg
L + Mehiläisvaha + Paraffiini	2.5 kg
L + Wheatpaste	2.5 kg



Kuva 10. Ylärivissä Calligraphy -paperi, ja alarivissä Lokta -paperi. Vasemmalta oikealle toimikassidokset järjestyksessä: ei-käsitelty, mehiläisvaha, mehiläisvaha & paraffiini, ja wheatpaste.

5.5 Testitulokset

5.5.1 Paperien erot

Calligraphy -paperi:

- Käsittelemätön paperi oli toiseksi vahvin, mutta koska paperi ei ollut yhtä notkeaa kuin esimerkiksi vahatut palaset, ne eivät venyneet yhtä paljon.
- Mehiläisvahalla päällystetty näytepala muuttui vähän notkeammaksi, mutta jostain syystä vaha ei parantanut kestävyyttä. Huomasin että kun paperi hajosi testin aikana, kuidut ratkesivat suikaleissa helpommin kuin muissa samasta paperista tehdyistä koepaloissa.
- Mehiläisvahalla ja parafiinillä päällystetty näytepala oli ulkonäöltään hienoin, mutta sekään ei ollut vahvempi kuin ei-käsitelty näytepala. Tämä oli kuitenkin notkein kaikista Calligraphy -paperista tehdyistä näytepaloista.
- Wheatpastella päällystetty paperi muuttui kuivatessa kovaksi, joten sen vuoksi näytepala ei venynyt yhtään eikä se ollut yhtään notkea. Tämä vaikutti silti siihen, että näytepala kesti parhaiten vetoa.

Lokta -paperi

- Lokta -paperi oli itsestään todella haurasta. Se hajosi helposti ja kuidut repesivät helpommin kuin aikaisemmassa paperissa. Se oli kuitenkin kolmasosan kevyempi kuin Calligraphy -paperi. Tämä vaikutti siihen, että Lokta -paperin näytepalat olivat todella notkeita.
- Mehiläisvahalla päällystetystä näytepalasta tuli todella pehmeä, joten se ei kestänyt vetoa kovin paljon.
- Mehiläisvahan ja parafiinin sekoitus teki näytepaloista hienoimpia. Se kesti vähän enemmän kuin aikaisemmat, ja se venyi parhaiten.
- Wheatpastella käsiteltyt näytepalat reagoivat samalla tavalla kuin Calligraphy -paperin versiot. Palat eivät venyneet ja ne revähtivät rikki yhtäkkiä, mutta ne kestivät eniten vetoa.

5.5.2 Sidosten erot

Eri sidosten väliset erot eivät olleet niin suuria kuin odotin. Calligraphy -paperista tehdyistä koepaloissa näkyi kuitenkin suurempi ero kuin Lokta -paperista tehdyissä koepaloissa. Calligraphy -paperin koepalat olivat hieman toisiaan kestävämpiä: 3/1 toimikas oli vahvin kahdessa kokeessa, käsittelemättömänä sekä mehiläisvahalla käsiteltynä. Sen lisäksi sidos oli venyvin. 3/1 toimikas oli kuitenkin huonoin wheatpastella käsiteltynä, sillä se kesti 3 kg vähemmän vetoa kuin 2/1 toimikas ja palttina.

Lokta -paperissa ei näkynyt suuria eroja, mutta vaikutti siltä että 2/1 toimikas kesti vähän paremmin. Paperi venyi vähän enemmän kuin Calligraphy -paperin koepalat, mutta ne eivät olleet läheskään yhtä kestäviä.

5.5.3 Päälysteiden erot

- Mehiläisvaha huononsi tuloksia Calligraphy -paperin koepaloissa, mutta paransi osittain tuloksia Lokta -paperin koepaloissa.
- Mehiläisvahan ja parafiinin ei parantanut tuloksia Calligraphy -paperin koepaloissa, mutta Lokta -paperin koepaloissa se teki palttinasta ja 2/1 toimikkasta vahvempia.
- Wheatpastella käsitellyillä Calligraphy -paperin koepaloilla oli palttinan ja 2/1 toimikkaan kohdalla n. 1kg:n enemmän kestävyyttä kuin käsittelemättömillä vastaavanlaisilla koepaloilla. Lokta -paperin kohdallakin wheatpaste paransi koepalojen kestävyyttä: Palttina kesti 1 kg:n enemmän vetoa, ja 2/1 toimikas kesti melkein 3 kg enemmän vetoa. 3/1 toimikkaan tulos ei muuttunut.

5.5.4 Muita tuloksia

Näytepalojen kiinnostavin ominaisuus oli niiden diagonaalinen venyvyys. Vastakkaisista kulmista vedettäessä näytepala venyi ja meni kaarelle. En kuitenkaan pystynyt mittaamaan venyvyyden määrää, sillä minulla ei ollut laitteita siihen.

Kokeiden perusteella päättelin, että ulkonäöltään paras näytepala, jossa paperi, sidos sekä päälystystapa oli kohdallaan, oli Calligraphy -paperista tehty 3/1 toimikas joka oli päälystetty mehiläisvahan ja parafiinin sekoituksella.

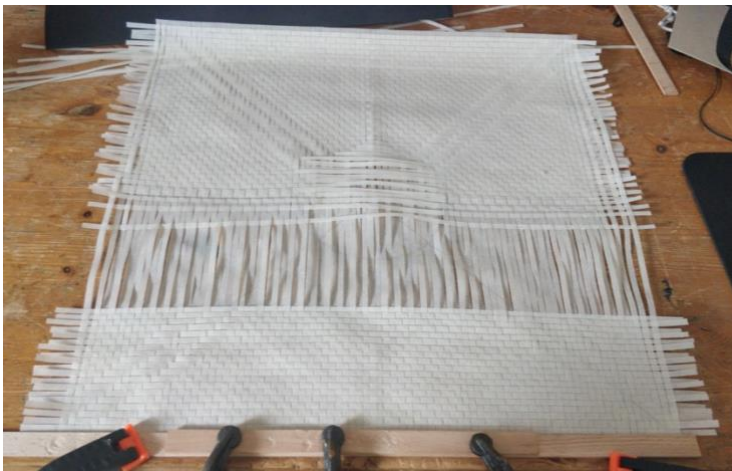
6 Testileija

Halusin kokeilla rakentaa täysikokoisen leijan hyödyntämällä tutkimuksesta saamani tuloksia. Päätin että teen omasta leijastani korealaisen taisteluleijan mallisen³ (**Kuva 11.**), sillä se on neliömäinen, ja sitä on suhteellisen helppo lennättää.



Kuva 11. Perinteinen korealainen taisteluleija³

Päätin tehdä 50 cm x 50 cm kokoisen, neliömäisen leijan 0,5 cm leveistä Calligraphy -paperista leikatuista suikaleista. Sisällyttääkseni rakenteen leijan purjeeseen, punoin kulmista vinottaissuunnassa sisäänpäin 3/1 toimikasta. Loput purjeesta punoin palttinalla (**Kuva 12.**).



Kuva 12. Leijan punomista

³ <http://koreaworldtour2012.blogspot.com/2012/04/make-korean-kite.html?m=1> 23.4.2012

Punomisen jälkeen, kun leijan purje oli valmis, päällystin koko punonnan pinnan parafiinin ja mehiläisvahan sekoituksella. Tein tämän samalla menetelmällä kuin koepalasia päällystyessä, eli sulattamalla silitysraudan avulla.

Viimeinen vaihe oli rakenteen tekeminen. Päätin käyttää hiilikuituputkia rakenteena keveytensä, kestävyytensä sekä ulkonäkönsä vuoksi. Paperipunonnan ja hiilikuidun yhdistelmä näytti hienolta (**Kuva 13.**).

Pujotin hiilikuituputket päällystettyyn paperipunontaan, jonka jälkeen liimasin putket kiinni leijan purjeen kulmista.

6.1 Lennättäminen

Leijan lennättäminen ei kuitenkaan sujunut odotusten mukaisesti. Olin suunnitteluvaiheessa ollut liian optimistinen leijan muodon kannalta, jonka seurauksena oli liian lyhyt leija pituussuunnassa. Leija lensi pari kertaa vähän aikaa, mutta se ei toiminut kuten olin suunnitellut.

Toinen syy siihen, että leija ei lentänyt oli sääolosuhteet. Tuuli ei ollut tasainen, ja sen vuoksi en pystynyt trimmaamaan sen lankoja kunnolla. Puuskittainen tuuli oli pienelle leijalle liikaa, vaikka yritinkin lisätä vakauttavia suikaleita leijan taakse (**Kuva 14.**).

Vaikka koepalaset kestivät testeissä vetoa aika paljon, paperipunonta ei kestänyt äkkinäistä shokkia. Tämä vaikutti siihen, että kun leija putosi maahan vähän liian kovaa, sen punonta ratkesi kulmista.



Kuva 13. Valmis leija



Kuva 14. Leija ulkona

7 Lopuksi

Opin tästä projektista eri sidoksista ja niiden ominaisuuksista, eri päällysteistä, ja myös että punominen on mukavaa hommaa, vaikka se on todella hidasta. Tämän takia pitäisi keksiä keino valmistaa sidoksia paljon nopeammin. Voisin esimerkiksi valmistaa kangaspuut juuri paperin punomista varten, jotka mahdollistaisivat nopeamman työskentelyn.

Paperin päällystämistäkin voisi nopeuttaa. Tähän keksin esimerkiksi sen, että vahaa voisi raastaa rouheeksi. Näin vaharouhetta voisi ripotella paperin päälle ilman että paperi menisi rikki vahapalaa hangatessa paperin pintaan.

Haluaisin jatkossa myös kokeilla olisiko mahdollista tehdä kolmiulotteisia muotoja punomalla, sekä myös kokeilla käsitellyn paperisidosten ompelemista yhteen.

Vaikka leija ei lentänyt kunnolla, ja vaikka se meni hieman rikki, opin silti paljon. Opin esimerkiksi sen, että paperin punominen 0,5 cm leveillä suikaleilla ei ole paras vaihtoehto leijan rakentamiseen. Aion tulevaisuudessa kokeilla punomista leveämmillä suikaleilla, sekä valaisimen tekemistä samalla tekniikalla.

8 Lähteet

Korealainen taisteluleija 23.4.2012 <http://koreaworldtour2012.blogspot.com/2012/04/make-korean-kite.html?m=1>

Moilanen, T. 1995. Käsintehty paperi. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Taide

TAPPI T494 -testilaite <https://www.admet.com/testing-applications/testing-standards/tappi-t494-paper-paperboard-tensile-testing/>